

03/22 steeldoc

Constructions
réversibles



Éditorial



Sur l'Herbstweg à Zurich, le cabinet Graser Troxler Architekten a conçu un immeuble d'habitation qui exploite l'ensemble des possibilités et des avantages de la structure en acier. Le noyau est certes massif, mais la structure métallique filigrane permet une adaptation des configurations et un futur réemploi des éléments de construction.

« La **construction réversible** consiste à concevoir des bâtiments de sorte à ce qu'ils présentent deux propriétés particulières : la première propriété est la **réversibilité spatiale**, soit l'aptitude d'un espace à accueillir des usages différents et à être transformé au gré de l'évolution des modes de vie et des besoins fonctionnels, malgré les difficultés de prédictions. La seconde propriété est la **réversibilité technique**, soit le potentiel des composants d'un bâtiment à être désassemblés sans perte de qualité technique ou fonctionnelle. »

Küpfer C., Fivet, C. : Déconstruction sélective - Construction réversible: recueil pour diminuer les déchets et favoriser le réemploi dans la construction.
EPFL 2021. DOI: 10.5281/zenodo.4314325

Depuis les débuts de la construction en acier, on trouve d'innombrables exemples de structures métalliques démontables et remontrables. Une ossature en acier réunit en effet des conditions idéales : des profilés ou des tôles standardisés s'assemblent mécaniquement et se désassemblent, généralement sans problème. Et s'il a correctement été traité contre la corrosion et les influences extérieures contrôlables, le matériau conserve ses propriétés presque indéfiniment. Employer des éléments aussi identiques que possible, utiliser des fixations standardisées, renoncer aux soudures au profit de boulons et garantir l'accès pour l'entretien permet d'assurer une préparation optimale des éléments de construction en vue d'une future réutilisation. La logique des structures métalliques présente toutefois un autre avantage : lorsqu'un bâtiment est réversible tant techniquement que spatialement, il peut s'adapter plus facilement à l'évolution des besoins court ainsi un moindre risque d'être remplacé prématurément. La probabilité que le bâtiment perde longtemps est alors plus élevée. Pour cela, il faut bien distinguer les éléments de construction porteurs et les éléments de séparation.

Un immeuble d'habitation pour deux propriétaires à Zurich incarne cette adaptabilité spatiale. En symétrie centrale par rapport à un noyau massif, la structure en acier forme certes deux demi-immeubles identiques, mais ses planchers mixtes et ses cloisons permettent d'obtenir des plans différents qui pourront être réorganisés dans le futur. La réversibilité technique est garantie en grande partie : par le choix de la construction en acier et la conception des détails de la structure, le bâtiment, sans avoir été spécialement conçu à cet effet, s'est doté des conditions idéales pour à la fois remplir ses fonctions aussi longtemps que possible une réserve potentielle de matériaux pour un futur édifice (à partir de la p. 4).

De nouvelles mesures de protection et une réorganisation du quai dans le port de Køge (DK) vont s'avérer inévitables. Le local d'une microbrasserie situé directement au bord du bassin portuaire a donc été conçu comme un kit à base d'éléments de construction en acier et en bois pour pouvoir déplacer le bâtiment à un autre emplacement dès que nécessaire (à partir de la p. 10).

Concevoir des logements provisoires sur des parcelles temporairement inoccupées pour des personnes dans le besoin : telle est la mission que la Ville de Barcelone a confiée à trois cabinets d'architectes. Le premier projet pilote a vu s'empiler des conteneurs maritimes réutilisés au cœur du Barri Gòtic sur une structure métallique d'un étage. Les appartements sont composés d'un ou deux conteneurs, l'ensemble du bâtiment est recouvert d'une enveloppe en polycarbonate (à partir de la p. 14).

Le cabinet d'architectes néerlandais cepezd a conçu un édifice garantissant une réutilisabilité optimale. Un palais de justice temporaire a récemment été démonté et stocké pour être reconstruit ailleurs l'année prochaine en vue d'un nouvel usage. L'architecte Ronald Schleurholts aborde dans un entretien les leçons tirées du démontage, l'influence que ces connaissances auront sur de futures conceptions et les détails de construction sur lesquels il faut porter une attention particulière (à partir de la p. 18).

En vous souhaitant une lecture inspirante.
Isabel Gutzwiller

Démontabilité par le minimalisme

Maître de l'ouvrage

Braunstein Brewery

Ingénieur structure

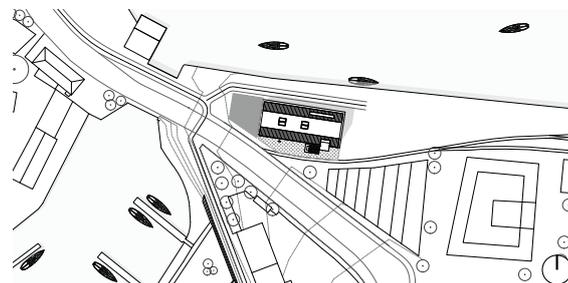
Give Steel

Architectes

Adept

Achèvement des travaux

2022



Situation, échelle 1:3000.

La Taphouse à Køge, au Danemark, est le lieu où la brasserie Braunstein accueille sa clientèle. C'est également un projet architectural dont la forme, les matériaux et la réalisation sont conçus pour un démontage ultérieur. La méthode de construction est toutefois si subtile que la démontabilité est à peine perceptible.

«Le bâtiment est en réalité très simple, ant au niveau de sa forme que de la structure porteuse et spatiale», expliquent les architectes du cabinet Adept, de Copenhague. Le sujet de la discussion ? La Braunstein Taphouse, située dans le port de Køge, une ville de 60000 âmes à 45 km au sud de la capitale danoise, avec sa vieille ville bien préservée et ses pittoresques maisons datant du XVIIe siècle.

Avec sa structure porteuse apparente en acier peint en noir, la Braunstein Taphouse attire le regard sur le quai du bassin portuaire.

C'est ici qu'a débuté en 2005 l'histoire de deux frères danois, Michael et Claus Braunstein, et de la microbrasserie et microdistillerie qu'ils ont ouverte ensemble. Depuis un emplacement central non loin de la gare, à l'extrémité sud du port industriel à proximité du bassin portuaire, la fratrie a perpétué la tradition du brassage, encore courante dans les différentes maisons de commerce des alentours il



y a 100 ans. Deux ans plus tard, les deux frères ont ajouté une distillerie à leur activité artisanale de microbrassage. Depuis lors, leur petite entreprise pionnière produit aussi bien des bières spéciales que du whisky.

Placée pour être déplacée

Depuis 2020, une nouvelle réalisation vient attirer le regard sur le quai du bassin portuaire: la Braunstein Taphouse. Il s'agit là d'un café, d'un bistrot, d'une salle d'événement, d'un lieu de rencontre pour la population locale et d'une destination populaire auprès des touristes. C'est Adept, un cabinet d'architectes de Copenhague, qui s'est chargé de la planification et de la construction, en collaboration avec une petite entreprise de construction métallique locale.

Comme bien d'autres ports maritimes, la côte de la baie de Køge est aussi touchée par le changement climatique. Le mur du quai est trop bas pour offrir une protection suffisante contre les inondations dans les années à venir. La Commune n'a pas encore clairement décidé ce qu'il adviendrait de ce mur. L'équipe de planification et le maître de l'ouvrage ont donc certes reçu l'autorisation de construire un bâtiment, mais celui-ci devait pouvoir être déplacé dès l'entrée en vigueur de nouvelles mesures de protection sur le site. Ainsi, l'édifice a été conçu de manière à pouvoir être entièrement démonté en éléments distincts, puis reconstruit ailleurs.

Rudimentairement simple et démontable

L'exigence de démontabilité et de remontabilité confère en même temps au projet un aspect durable et écologique. En effet, la totalité du bâtiment et de ses divers composants sont réutilisables à long terme soit pour reproduire le même ensemble, soit pour s'intégrer tout ou partie à un tout autre projet. Pour garantir cette réutilisabilité, la structure est simplifiée au maximum à travers une réalisation minimaliste à base de matériaux bruts en faible quantité, avec un volume de déchets minimal, aussi peu de peinture ou de produit de jointoiment que possible et peu de couches de matériaux. Les matériaux bruts devaient pouvoir réintégrer le cycle sans traitement pour être aussi purs que possible lorsqu'ils circulent dans l'écosystème des matériaux.

À l'emplacement où l'équipe de planification a conçu la Taphouse s'élevait auparavant un vieil entrepôt. Elle a conservé les semelles isolées existantes et les a intégrées à la nouvelle dalle de béton armé, réalisée juste au-dessus du niveau vraisemblable de la montée des eaux. Enfin, la dalle est entourée d'un lattis qui donne au bâtiment un charmant socle étagé.

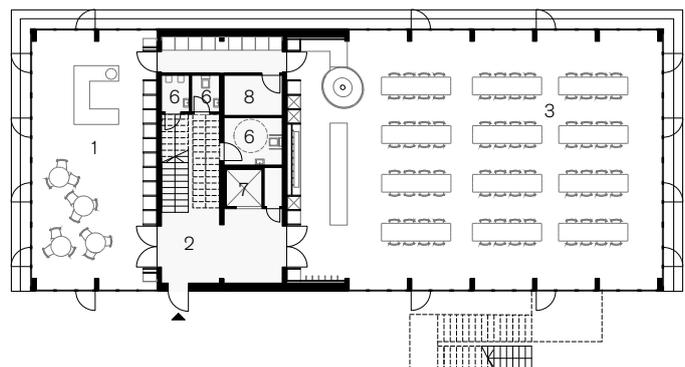


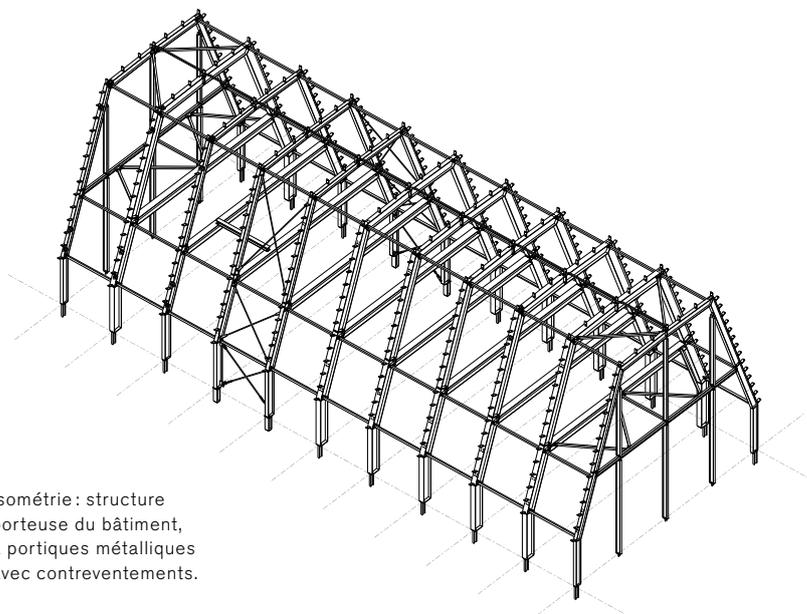
Le mur du quai étant bas, de nouvelles mesures de protection pourraient être nécessaires. C'est pourquoi le nouveau bâtiment est conçu de manière à pouvoir être entièrement démonté en pièces détachées, puis remonté ailleurs.

La dalle en béton armé sert de base au bâtiment dont la structure porteuse se compose de onze portiques métalliques biarticulés qui, de par leur système statique, viennent renforcer transversalement la halle. Ces onze portiques sont placés tous les 2,8 m et sont rigidifiés dans le sens longitudinal de la halle par des tirants croisés ($d = 30 \text{ mm}$) dans la septième travée, entre le septième et le huitième portique (voir isométrie p. 12). Dans cette structure porteuse primaire rythmée, chaque portique forme un «A» caractéristique et présente des assemblages standardisés rigides à la flexion entre le montant et la traverse. La traverse inférieure du «A», la poutre qui vient compléter le portique entre les montants, est aussi fixée de manière à être rigide à la flexion et renforce encore transversalement la structure. Le plancher du 1^{er} étage repose sur ces poutres horizontales entre les onze portiques (intérieur HEA 340, pignon IPE 180). La première et la dernière travée de poutres contribuent à la transmission horizontale de la charge par l'intermédiaire d'un treillis horizontal – deux contreventements en K avec poteaux intermédiaires – et rigidifie la vaste surface vitrée des murs pignons. Si ces poutres sont droites conformément à leur fonction, les montants latéraux présentent quant à eux une nette inflexion. Cette forme réduit légèrement la contrainte de flexion sur les poutres primaires et se justifie donc d'un point de vue tant esthétique que statique.

Vue en plan rdc et coupe est-ouest de la Taphouse, échelle 1:350.

- 1 Café
- 2 Zone d'accès
- 3 Restaurant
- 4 Salle d'événement
- 5 Salle de réunion
- 6 Toilettes
- 7 Ascenseur
- 8 Local technique

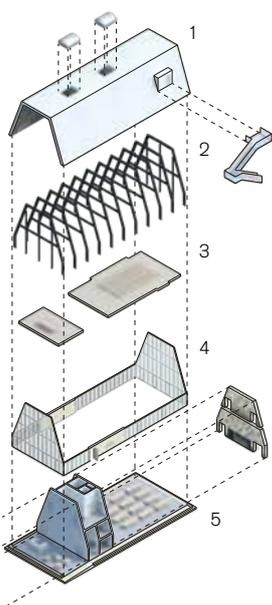




Isométrie : structure porteuse du bâtiment, à portiques métalliques avec contreventements.

L'ensemble de la structure porteuse se compose d'éléments préfabriqués et boulonnés ensemble sur le chantier.

- 1 Toiture (plaques de polycarbonate, ossature bois secondaire isolée, panneaux de fibres de bois)
- 2 Structure porteuse (portiques métalliques)
- 3 Plancher au-dessus du rdc (éléments en bois)
- 4 Façade (fenêtre en bois, revêtement bois)
- 5 Dalle en béton armé sur semelles isolées existantes



Tous les portiques se composent de différents profilés IPE (IPE 300 à IPE 450) en fonction de leurs sollicitations statiques. Ces profilés sont constitués d'acier de nuances S235 et S355. La plupart des profilés en H, en I et RHS sont en acier S355, les semelles et les âmes des profils en tôles soudées sont en revanche en nuance S275. Les plaques frontales sont en acier S355 ou S275 en fonction de leur forme ou de leur découpe. Lorsqu'elle peut réaliser une découpe simple, l'entreprise de construction métallique utilise du S275; pour les découpes plus complexes, elle recourt à du S355 afin de pouvoir travailler avec un découpeur plasma. Les portiques métalliques des deux murs pignons se complètent par des profilés verticaux – IPE 200 en haut, IPE 220 en bas – boulonnés à la poutre intermédiaire du A (ici, seulement un profilé IPE 180). Ce système de montants pour les murs pignons supporte les charges de la façade. Le toit se compose de plaques alvéolaires en polycarbonate qui reposent sur des pattes soudées sur les côtés inclinés et sur la partie horizontale supérieure du portique métallique en A. Ces plaques constituent le revêtement extérieur de la toiture et sont faciles à démonter puisqu'elles sont simplement fixées les unes aux autres via un assemblage à rainure et languette. Ce système permet non seulement un démontage simple, mais également un entretien aisé. Les plaques alvéolaires en polycarbonate sont montées sur site sur une structure secondaire en bois vissée. L'isolant et les panneaux de fibres de bois viennent fermer l'espace. En outre, les plaques alvéolaires en polycarbonate transmettent directement les charges du toit aux traverses primaires des portiques métalliques. La structure porteuse à portiques métalliques peut ainsi fonctionner sans pannes. Toutefois, les concepteurs en ont tout de même placé à chaque segment du montage. Elles ont déjà été montées pendant la construction, avant la pose de la toiture, et servent de support de montage rigidifiant le bâtiment. Les pannes assurent ainsi une fonction porteuse uniquement lorsque la toiture n'est pas encore en place, qu'elle doit être

temporairement retirée, qu'une partie doit être remplacée ou que l'ensemble du bâtiment soit démonté et remonté. On se retrouve donc certes avec plus d'éléments porteurs primaires, mais beaucoup moins de structures porteuses secondaires sont alors nécessaires. Ce système permet d'uniformiser les profilés, de simplifier la production et de réduire la complexité des différentes étapes de travail.

Segmenté en éléments pratiques

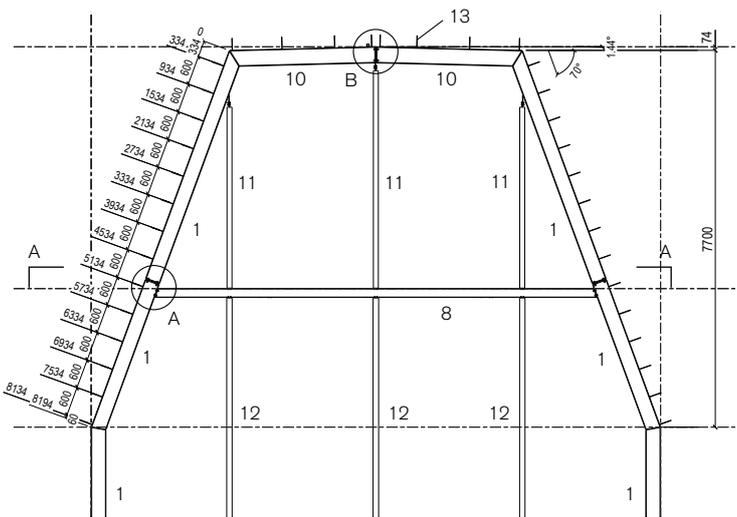
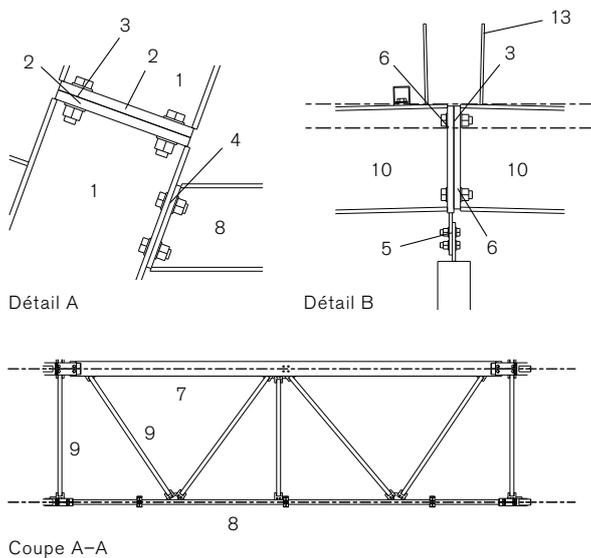
Toute la structure porteuse se compose d'éléments préfabriqués et boulonnés ensemble sur le chantier. Les dimensions de chaque élément permettent un transport et un montage aisés, un aspect essentiel lorsqu'on prévoit le démontage et la reconstruction dès la conception. Chaque assemblage comporte le moins de boulons possible pour faciliter le travail si la structure porteuse devait un jour être démontée. Ainsi, les semelles des portiques sont boulonnées à la dalle en béton armé par des plaques avec seulement deux boulons de chaque côté de l'âme, où s'exercent les contraintes de traction. Les courts poteaux en acier coulés dans le béton transmettent les forces à la dalle en béton. Les zones comprimées fonctionnent en compression et n'ont donc pas besoin d'un assemblage résistant à la traction.

Le système statique reste rudimentaire. L'équipe interne d'ingénierie de l'entreprise de construction métallique a réalisé elle-même les calculs statiques. Si elles avaient pu être davantage optimisées du point de vue statique, les dimensions des profilés métalliques se justifient tout à fait par la recherche d'une uniformisation géométrique et architecturale maximale.

Une brasserie représentative

La partie plate du toit, de près de 6 m de large, accueille une installation photovoltaïque. Les pans de toit sont entièrement clos. Des lucarnes apportent un éclairage supplémentaire à l'étage. La majeure partie des façades latérales sont vitrées. Les rares parties fermées ont été recouvertes de bois Accoya neutre en CO₂, résistant aux intempéries, non traité et certifié par les labels Cradle-to-Cradle Gold, FSC ainsi que par le label écologique danois Svanemærket.

La structure porteuse à nef unique a été laissée apparente à l'intérieur et peinte en noir. Toute la structure métallique a également été protégée de la corrosion par une peinture polyuréthane. À certains endroits, elle a également été enduite d'une peinture intumescente, en fonction de la résistance au feu des profilés. À l'étage, le revêtement en question est une peinture R30. La réserve de portance et



le surdimensionnement ont permis ici de se passer d'autres mesures de protection incendie, y compris d'une peinture intumescente de classe correspondante, étant donné que les éléments de construction ne sont pas sous pleine charge à température normale. Au rez-de-chaussée toutefois, il a fallu dimensionner pour une résistance au feu R60. Par ailleurs, la charge supportée par les pièces étant très faible, le surdimensionnement requis pour cette résistance au feu aurait été plus que superflu. Les profilés ont donc été enduits. Pour ce faire, on a utilisé une peinture intumescente dont l'épaisseur de couche dépend de la température critique calculée de l'acier. Le système à trois couches comprend un apprêt, la peinture intumescente qui gonfle sous fortes températures et une couche de finition qui donne sa couleur à la structure et assure également à l'acier la protection nécessaire contre la corrosion.

Le caractère industriel fait écho à l'environnement direct du port, souligné par les entrepôts, les murs de quai, les navires, les conteneurs prêts à être chargés et le pont basculant bleu juste devant la Taphouse. La prise en compte du contexte et de son interaction avec la réalisation architecturale de la structure a donné naissance à une architecture marquée par des lignes claires. Le bâtiment crée un espace qui réunit, d'une part, ville, population, clientèle et vente et, d'autre part, transport, production, artisanat et distribution d'autre part. Une charnière entre deux secteurs d'activité qui s'incarne et s'utilise sous la forme d'un espace commun doté d'une surface utile 1000 m².

D'un côté du noyau d'accès central de 8,5 m de large, le rez-de-chaussée accueille un petit café, tandis que l'autre côté est dédié au restaurant – tous deux publics. Le noyau se compose d'une ossature secondaire en bois et en plaques de plâtre également démontable. Il n'est statiquement pas porteur et s'intègre sous la structure porteuse en acier comme un meuble. Les espaces à l'étage, éclairés et ouverts

vers l'extérieur grâce aux lucarnes, sont plus intimes et peuvent être utilisés par des associations locales ou pour des événements privés. Le noyau abrite la cuisine, la cage d'escalier et les toilettes. Toutes les pièces peuvent être aérées naturellement. Un bâtiment durable qui, d'après les brasseurs, pose un cadre idéal favorisant le sens de la communauté, le savoir-faire artisanal et l'amour des ingrédients de qualité. Cela s'applique à la fois aux produits qui y sont brassés et distillés et à l'établissement représentatif en lui-même.

Projet Braunstein Taphouse
Lieu Carlsensvej, Køge (DK)
Maître de l'ouvrage Braunstein Brewery
Architectes Adept (DK)
Ingénieur structure Give Steel (DK)
Planification spécialisée Give Steel (DK)
Construction métallique Give Steel (DK)
Construction HPH Totalbyg (DK)
Structure porteuse Structure porteuse à portiques métalliques
Type de structure Ossature en acier boulonnée et démontable
Préfabrication et montage Give Steel (DK)
Nuances d'acier S355 et S275
SBP 1000 m²
Poids 31,8 t (acier)
Dimensions 11,35 m l × 27,85 m L × 10,27 m H
Coût global 10 mio. DKK / env. 1,4 mio. CHF
Durée du chantier 2019 à 2020

Structure porteuse à portiques métalliques du mur pignon, échelle 1:150.
 Détail A : structure porteuse à portiques métalliques avec jonction des profilés verticaux, échelle 1:15.
 Détail B : treillis de renforcement horizontal en K et nœud de faîtage rigide à la flexion, échelle 1:25.
 Coupe A-A : nœud du portique rigide à la flexion avec jonction de la traverse horizontale intermédiaire du A, échelle 1:150.

- 1 IPE 300
- 2 Plat acier 20 × 150 mm
- 3 4 vis M 24 × 80 mm
- 4 4 vis M 20 × 50 mm
- 5 2 vis 16 × 50 mm
- 6 Plat acier 20 × 160 mm
- 7 HEA 340
- 8 Traverse intermédiaire du A IPE 180
- 9 Profilé carré creux 80 × 80 × 3 mm
- 10 IPE 330
- 11 IPE 200
- 12 IPE 220
- 13 Plat acier 8 × 120 mm

La structure porteuse à nef unique est apparente à l'intérieur grâce au faible nombre de couches de la construction. Le futur démontage en sera facilité.



Impressum

steeldoc 03/22, septembre 2022
Constructions réversibles

SZS Centre suisse de la construction en acier, Zurich
Isabel Gutzwiller, Laurent Audergon

Rédaction et textes :
espazium – Les éditions pour la culture du bâti, Zurich

Direction de projet :
Andrea Eschbach, Franziska Quandt,
Philippe Morel, Judit Solt

Ulrich Stüssi, pp. 4-9
Clementine Hegner-van Rooden, pp. 10-13
Daniela Meyer, pp. 14-17
Clementine Hegner-van Rooden, pp. 18-21

Secrétaire de rédaction : Philippe Morel

Traduction allemand-français :
Interserv AG, Zurich, Michel Crisinel

Les descriptions des projets sont basées
sur les données fournies par les concepteurs.
Les plans proviennent des bureaux d'étude.

Mise en page :
espazium – Les éditions pour la culture du bâti, Zurich

Photos :
Couverture : Karin Gauch, Fabien Schwartz
Éditorial : Karin Gauch, Fabien Schwartz
pp. 4-9 : Karin Gauch, Fabien Schwartz
pp. 10-13 : Rasmus Hjortshøj
pp. 14-17 : Adria Goula
p. 18 : Temporary Courthouse :
Leon van Woerkom, cepezed
p. 19 : Lucas van der Wee, cepezed
p. 20 : Green House : Lucas van der Wee, cepezed ;
Bouwdeel d(emontabel) : Lucas van der Wee, cepezed

Conception graphique :
Gabriele Fackler, Reflexivity AG, Zurich

Impression :
Stämpfli SA, Berne

ISSN 1662-2359

Abonnement annuel CHF 60.– / étranger CHF 90.–
Numéros isolés CHF 18.– / numéros doubles CHF 30.–
Sous réserve de changement de prix.
À commander sur www.szs.ch/fr/steeldoc

Construire en acier/steeldoc© est la documentation d'architecture du Centre suisse de la construction en acier et paraît quatre fois par an en allemand et en français. Les membres du SZS reçoivent l'abonnement ainsi que les renseignements techniques du SZS gratuitement.

Toute publication des ouvrages implique l'accord des architectes, le droit d'auteur des photos est réservé aux photographes. La reproduction et la traduction, même partielles, de cette édition ne sont possibles qu'avec l'autorisation écrite de l'éditeur et l'indication de la source.

**Abonnement annuel à steeldoc pour CHF 60.–
(gratuit pour les étudiants) sur www.szs.ch/fr/steeldoc**